واهمامیخت کور چندکاناله داده لرزه‌ای بر مبنای تُنُکی

سپیده وفائی شوشتری*، علی غلامی، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران • علیرضا جواهری نیستانک، مدیریت اکتشاف

چکیده

لرزه‌نگاری اکتشافی روشی معمول برای جستجوی منابع نفت و گاز طبیعی و مواد معدنی است. در مراحل پردازش داده لرزه‌ای، هنگامی که هدف بهبود قدرت تفکیک مقاطع لرزه‌ای از طریق عمل واهمامیخت خواهد بود، پردازش ردلرزه به ردلرزه، موجب نادیده گرفتن ارتباط مکانی اطلاعات موجود در داده‌ها می‌شود. علاوه‌بر این، برای انجام فرایند واهمامیخت به موجک چشمه لرزه‌ای نیازاست. تخمین درست یک موجک لرزه‌ای به‌شدت تحت تأثیر پیچیدگی‌های فازی موجک می‌باشد. در این مقاله، با تخمین یک طیف دامنه هموار برای موجک، فرایند واهمامیخت چندکاناله داده لرزه‌ای بر اساس الگوریتم بازیابی فاز به‌منظور تخمینی از پاسخ ضربه زمین انجام خواهد شد. در واقع بر خلاف روش‌های واهمامیخت مرسوم، در اینجا تنها از وارون‌سازی طیف دامنه فوریه داده‌ها بهره گرفته می‌شود. یک تابع منظم‌ساز که بر مبنای افزایش تُنُکی لایه‌های زمین مورد مطالعه در راستای زمانی و بهبود پیوستگی لایه‌ها در راستای جانبی می‌باشد، برای حل مسئله استفاده می گردد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌های عددی با داده‌های شبیه‌سازی شده و میدانی نشان می‌دهند که روش پیشنهادی قادر خواهد بود طی انجام فرایند واهمامیخت کور لرزه‌ای، موجک‌های با فاز آمیخته را با دقت بالایی از مقاطع لرزه‌ای استخراج نموده و تفکیک‌پذیری قائم مقاطع را با بازیابی سری ضرایب بازتاب زمین بهبود بخشد.

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۶/۰۱/۲۵
تاریخ ارسال به داور: ۹۶/۰۲/۱۲
تاریخ پذیرش داور: ۹۶/۰۵/۱۴

واژگان کلیدی:
واهمامیخت کور، واهمامیخت چندکاناله، بازیابی فاز، موجک لرزه‌ای، طیف دامنه فوریه، پاسخ ضربه زمین

مقدمه

داده حاصل از عملیات لرزه‌نگاری در مقایسه با سایر روش‌های ژئوفیزیکی می‌تواند اطلاعات دارای جزئیات بیش‌تری از پدیده‌های زیر سطح زمین ارائه کند و به همین دلیل لرزه‌نگاری در اکتشافات نفت و گاز از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. به‌طور کلی، داده لرزه‌ای که طی عملیات لرزه‌نگاری برداشت و ثبت می‌گردد، وارد مراحل پردازش و تفسیر شده تا اطلاعاتی را استخراج کند که بتوان با توجه به آنها ساختارهای زمین‌شناسی زیر سطح زمین را آشکارسازی کرد. فرایند واهمامیخت یکی از فرایندهای مهم در مراحل پردازش داده‌های لرزه‌ای است به این جهت که بسیاری از سیگنال‌ها و تصاویر لرزه‌ای در نتیجه‌ی همامیخت سیگنال زمین مورد مطالعه با یک کرنل مات‌کننده حاصل از چشمه می‌باشند. در واقع، فرایندی که این امکان را می‌دهد تا اثرات این کرنل مات‌کننده[۱] از روی سیگنال مشاهده شده برداشته و حذف گردد، واهمامیخت نامیده می‌شود. هنگامی که سیگنال موردنظر و کرنل مسئله مجهول باشند، فرایند مذکور تحت عنوان واهمامیخت کور معرفی می‌شود. در بحث داده‌های لرزه‌ای، سیگنال مورد علاقه پاسخ ضربه زمین و کرنل مات‌کننده، موجک چشمه لرزه‌ای می‌باشند. به‌طور معمول، موجک لرزه‌ای خود از مجهولات مسئله بوده و بنابراین، در لرزه‌شناسی اغلب با واهمامیخت کور[۲] مواجه خواهیم بود[۱].

واهمامیخت موجک چشمه که هدف از پیاده‌سازی آن، افزایش تفکیک‌پذیری قائم داده لرزه‌ای می‌باشد از جمله مسائلی است که در آن، فاز موجک از دست داده می‌شود و یا فاز مذکور به‌همراه خطا وارد مسئله می‌شود. برای انجام این فرایند، داشتن یک موجک با ساختار صحیح الزامی است و این بدان معنی است که اطلاعات فازی نیز باید بازیابی شوند. به‌دست آوردن فاز در چنین مسئله‌ای یکی از چالش‌برانگیزترین مراحل خواهد بود؛ زیرا به‌طور کلی یک سیگنال توسط طیف دامنه و فاز آن تعریف می‌شود که این دو به‌طور کامل مستقل از یکدیگر هستند و نمی‌توان یکی را از روی دیگری محاسبه نمود. بنابراین، فرض کمینه فاز بودن موجک به‌عنوان فرضی رایج برای اکثر روش‌های حل در نظر گرفته می‌شود که در آن، طیف فاز موجک به طیف دامنه آن ارتباط پیدا می‌کند و می‌توان گفت که تابع خودهمبستگی لرزه‌نگاشت[۳]، گونه‌ی مقیاس یافته‌ای از تابع خودهمبستگی موجک لرزه‌ای می‌باشد. دلیل این امر آن است که توزیع داده‌ها در این تخمین‌ها گوسی در نظر گرفته می‌شود، اما این فرض در واقعیت، فرض صحیحی نیست[۲]. در صورتی که موجک مسئله دارای فاز آمیخته باشد، دیگر فرض توزیع گوسی برای داده‌ها وجود نخواهد داشت و باید از سایر روش‌های آماری برای تخمین موجک مسئله موردنظر استفاده شود که این روش‌ها نه تنها اطلاعات طیف دامنه بلکه اطلاعات مربوط به طیف فاز را هم وارد مسئله می کنند

* نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات (s.vafaei@ut.ac.ir)

و با پیچیدگی و عدم‌قطعیت همراه خواهند بود. از میان این روش‌ها می‌توان به فاکتورگیری طیفی مرتبه بالا، کپسترال و واهمامیخت حداقل بی‌نظمی (MED[۵]) اشاره کرد [۲,۳,۴].

در این مقاله، با استفاده از اطلاعات تنها طیف دامنه داده مشاهده‌ای به حل مسئله واهمامیخت کور پرداخته می‌شود. در واقع به دنبال یافتن مدل زمینی هستیم که طیف دامنه داده بازسازی شده از این مدل با طیف دامنه داده لرزه‌ای مطابقت داشته باشد. چنین مسئله‌ای نایکتا بوده و باید با اعمال قیدهای ساختاری مناسب، جواب منحصر به فرد را از روی طیف دامنه داده لرزه‌ای به‌دست آورد[۵]. پیاده‌سازی روش موردنظر بر روی داده‌های شبیه‌سازی شده و میدانی، عملکرد خوب آن را در واهمامیخت کور و بازیابی سری بازتاب زمین و نیز موجک‌های دارای ساختارهای پیچیده نشان می‌دهد.

۱-تئوری روش تحقیق

مدل همامیختی[۶] زمین حاصل همامیخت موجک چشمه با پاسخ ضربه زمین است که پاسخ ضربه زمین خود به تابع گرین[۷] معروف می‌باشد و به‌طور کلی شامل پراش‌ها، چندگانه‌ها و سایر بازتاب‌ها خواهد بود. در اندازه‌گیری‌های فیزیکی، لرزه‌نگاشت ثبت شده $y(t)$ پاسخ زمین به یک موجک با باند فرکانسی محدود که توسط یک چشمه لرزه‌ای تولید شده است، می‌باشد. یک چشمه ایده‌آل چشمه‌ای است که موجک اسپایکی با پهنای صفر ایجاد کند. هرچند در عمل چنین تابع چشمه‌ای نمی‌تواند تولید شود. به لحاظ ریاضی و طبق رابطه (۱)، $y(t)$ به عنوان همامیخت موجک $w(t)$ با سری ضرایب بازتاب زمین $r(t)$ مدل‌سازی می‌شود و به مقدار نوفه افزودنی $e(t)$ که لزوماً دارای توزیع گوسی نمی‌باشد، آغشته می‌شود. در واقع سری ضرایب بازتاب نشان دهنده اختلاف مقاوت صوتی بین لایه‌های مختلف زمین‌شناسی را مشخص می‌کند و بنابراین ساختار کشسان زمین را به تصویر می‌کشد که برای ژئوفیزیک‌دانان اهمیت ویژه‌ای دارد. در این مقاله، فرض اساسی که برای نوع توزیع نوفه موجود در مسئله در نظر گرفته شده است، توزیع گوسی می‌باشد.

$$y(t) = w(t) * r(t) + e(t) \qquad (۱)$$

که در معادله فوق، نماد (*) بر عملگر همامیختی دلالت می‌کند. در صورتی که ساختار ماتریسی مدل همامیختی را مورد بررسی قرار دهیم، آنگاه معادله (۲) را در حوزه زمان خواهیم داشت.

$$y = Gr + e \qquad (۲)$$

که در آن ماتریس G همان کرنل مات‌کننده است و شامل موجک لرزه‌ای پایا خواهد بود. به بیان ریاضی، این کرنل به صورت $G = F^{-1}\mathbf{W}F$ یک ماتریس چرخشی[۸] برای موجک W به‌شمار می‌آید و $\mathbf{W} = diag(\hat{w})$ یک ماتریس قطری است که طیف فوریه موجک W بر روی قطر اصلی آن قرار می‌گیرد. قابل ذکر است که طیف $\hat{w}$ فوریه موجک لرزه‌ای می‌باشد و همچنین عملگرهای F و F^{-1} نیز به‌ترتیب ماتریس عملگرهای وارون فوریه می‌باشند[۴]. واهمامیخت پایا بر پایه مدل همامیختی است که به‌ترتیب در ماتریس عملگرهای فوریه و وارون فوریه خواهند بود[۶]. واهمامیخت پایا بر پایه مدل همامیختی که در رابطه (۲) توضیح داده شد، می‌باشد. از آنجایی که این مدل همامیختی تنها یک متغیر معلوم و مشخص دارد که همان لرزه‌نگاشت ثبت شده می‌باشد، پس دارای دو مجهول است که شامل موجک و سری بازتاب زمین خواهند بود.

۱-۱- واهمامیخت چندکاناله

در عمل، با لرزه‌نگاشت‌های متعددی سروکار داریم که نمونه‌های گسسته از یک میدان موج سه‌بُعدی هستند. همچنین، مدل بازتاب دلخواه نیز یک تابع سه‌بُعدی می‌باشد. این تابع سه‌بُعدی ابرصفحه‌هایی را توصیف می‌کند که مربوط به مرزبندی لایه‌های زمین شناسی هستند. بنابراین، واهمامیخت ردلرزه به ردلرزه به مدل بازتابی نتیجه خواهد شد که جواب مطلوبی نیست، به‌دلیل اینکه ارتباط مکانی اطلاعات موجود در مقطع لرزه‌ای را در نظر نخواهد گرفت[۷]. بدین‌منظور برای پیاده‌سازی واهمامیخت چندکاناله، تابع منظم‌ساز را به صورت $(1-\beta)\|r\|_1 + \beta\|r\|_{SOTV}$ تعریف می‌کنیم که نرم SOTV[۹] بیانگر تابع تغییرات کلی مرتبه دوم می‌باشد[۵]. با در نظر گرفتن تابع منظم‌ساز مذکور، تابع هدفی که در اینجا برای پیاده‌سازی فرایند واهمامیخت کور به دنبال بهینه‌سازی آن هستیم، به‌صورت رابطه (۳) خواهد بود.

$$\hat{r} = \| b - |FGr| \|_p^p + \tau(1-\beta)\|r\|_1 + \tau\beta\|r\|_{SOTV} \qquad (۳)$$

در این تابع هدف که بر اساس آن مدل بازتاب زمین است که تنها از روی طیف دامنه مشاهدات تخمین زده می‌شود، $b = |\hat{y}|$ بیانگر طیف دامنه داده مشاهده شده، عملگر گسسته فوریه، G عملگر همامیخت متشکل از طیف دامنه فوریه موجک، τ پارامتر منظم‌سازی و $\|\cdot\|_1$ تابع منظم‌ساز نرم-۱ می‌باشد. بنابراین هیچ‌گونه اطلاعات فازی در مورد موجک چشمه لرزه‌ای وارد مسئله نشده است. قیدی هم که برای منظم‌سازی مسئله سری بازتاب در نظر گرفته می‌شود، بر پایه تُنُکی خواهد بود [۵].در تابع هدف (۳)، بخش $\| b - |FGr| \|_p^p$ بخش تطابق با طیف دامنه داده مشاهده‌ای را بیان می‌کند که با توجه به اطلاعات اولیه‌ای که در مورد خصوصیات نوفه موجود در داده‌ها p=2 در نظر گرفته می‌شود، تعیین خواهد شد و با فرض گوسی بودن توزیع نوفه در نظر گرفته می‌شود. از نقطه‌نظر منظم‌سازی، $\hat{r}$ جواب یکتای معادله (۳) می‌باشد که بخش منظم‌ساز رابطه آن را برآورده می‌کند و پارامتر ضریب متناظر با بخش منظم‌ساز است که به‌عنوان پارامتر منظم‌سازی شناخته می‌شود. تابع تغییرات مرتبه دوم برای سری بازتابی بر اساس رابطه (۴) تعریف می‌شود:

$$\|r\|_{SOTV} = \sum_i \sqrt{(\Delta_i^{11} r)^2 + 2(\Delta_i^{12} r)^2 + (\Delta_i^{22} r)^2} \qquad (۴)$$

عملگرهای خطی Δ_i^{11} ، Δ_i^{12} و Δ_i^{22} که اندیس پایین در آنها، جهت

مشتق‌گیری را نمایش می‌دهد، مربوط به اختلاف مرتبه دوم در پیکسل ام بوده و به صورت زیر تعریف می‌شوند[۵]:

$$\Delta_i^{11}\,\mathrm{r}=\mathrm{r}[i]-2\,\mathrm{r}[i+n_t]+\mathrm{r}[i+2n_t] \qquad (۵)$$

$$\Delta_i^{22}\,\mathrm{r}=\mathrm{r}[i]-2\,\mathrm{r}[i+1]+\mathrm{r}[i+2] \qquad (۶)$$

$$\Delta_i^{12}\,\mathrm{r}=\mathrm{r}[i]-\mathrm{r}[i+1]-\mathrm{r}[i+n_t]+\mathrm{r}[\mathrm{i}+\mathrm{n}_t+1] \qquad (۷)$$

ترکیب چنین منظم‌سازی با خطای نرم-۱مدل به هموار کردن پدیده‌های بازتابی در حین تُنُک کردن آنها در زمان کمک می‌کند. پارامتر $0\leq\beta\leq1$ دومین پارامتر منظم‌سازی می‌باشد که وظیفه آن برقراری تعادل میان دو بخش منظم‌سازی که همان تُنُکی در راستای زمانی $\|\mathrm{r}\|_1$ و پیوستگی جانبی بازتاب‌ها $\|\mathrm{r}\|_{SOTV}$ است، خواهد بود. هرچه β بزرگ‌تر باشد؛ پیوستگی موجود در لایه‌ها بیشتر ولی میزان تُنُکی لایه کمتر خواهد بود و برای مقدار β کوچک‌تر، تُنُکی لایه‌ها افزایش و میزان پیوستگی کاهش خواهد یافت. مقدار مناسب برای پارامتر β به روش آزمون و خطا به‌دست می‌آید. برای حل بخش منظم‌ساز، از الگوریتم شکافت برگمن[۱۰] استفاده می‌شود که جواب حاصل از آن در هر تکرار وارد الگوریتم بازیابی فاز [۵] شده و جدیدسازی می‌شود. روش شکافت برگمن را می‌توان برای کمینه کردن توابع محدبی که شامل چندین قید تُنُکی برای بازیابی مدل موردنظر می‌باشند به‌کار برد. این روش از مفهوم فاصله برگمن [۸] و تجزیه تابعی نشأت می‌گیرد که از لحاظ سرعت همگرایی و پایداری عددی بسیار مناسب است و برای حل مسائل ژئوفیزیکی در مقیاس بسیار بزرگ نیز قابل استفاده می‌باشد. قابلیت روش شکافت برگمن در این است که مؤلفه‌های نرم-۲ و نرم-۱ تابع هدف موردنظر را از هم جدا می‌سازد. بر اساس این شیوه، تابع هدف اصلی به تعدادی توابع ساده‌تر تقسیم شده که به‌راحتی قابل حل هستند. بنابراین، فرایند بهینه‌سازی تابع هدف اولیه بین چندمرحله اصلی که شامل حل این توابع ساده‌تر می‌باشد، تکرار خواهد شد.

در نتیجه، در مسئله خود به‌عنوان واهمامیخت کور بدون در نظر گرفتن فاز موجک چشمه، به دنبال یافتن الگوریتم مؤثری هستیم که تُنُک‌ترین سری بازتاب زمین را تنها با استفاده از طیف دامنه داده مشاهده شده به‌دست آورده و سپس در گام بعدی، با استفاده از سری بازتاب حاصل، موجک چشمه لرزه‌ای تخمین زده می‌شود. دلیل اصلی بازیابی سری بازتاب زمین بر اساس واهمامیخت تُنُک این است که مدل صحیح بازتاب‌های زمین می‌تواند بر طبق مدلی از برهم‌نهی مجموعه‌ای از اسپایک‌ها در نظر گرفته شود که با واقعیت مدل زمین سازگاری بیشتری دارد. مسئله طرح شده یک مسئله غیرمحدب است و وظیفه بخش منظم‌ساز فراهم کردن محدودیت‌های ساختاری خواهد بود که برای حل مسئله ضروری می‌باشد تا جواب به‌دست آمده به مدل واقعی نزدیک باشد. برای حل این مسئله بهینه‌سازی، از روش انقباض و آستانه‌گذاری سریع به روش تکرار (FISTA1[۱۱]) استفاده می‌شود تا همگرایی به جواب، با سرعت بیش‌تری صورت گیرد [۹].

در گام بعدی پس از بازیابی سری ضرایب بازتاب زمین، به تخمین موجک لرزه‌ای که اطلاعات صحیح فازی را دربردارد، پرداخته می‌شود. برای به‌دست آوردن یک موجک هموار از تابع هدف (۸) که از خانواده توابع منظم‌ساز تیخونف محسوب می‌شود، استفاده می کنیم.

$$\tilde{w}=\arg\min_{\mathrm{w}}\left\{\|\mathrm{y}-\mathrm{G}\mathrm{w}\|_2^2+\lambda\|L\,\mathrm{w}\|_1\right\} \qquad (۸)$$

که در رابطه مذکور W موجک تخمینی، Y داده مشاهده شده، L ماتریس مشتق‌گیری از مرتبه‌های متفاوت و G عملگر همامیخت ساخته شده از سری بازتاب تخمین زده شده به روش بازیابی فاز می‌باشند. برای حل تابع هدف (۶) از روش تکرار کمترین مربعات وزن‌دهی شده (IRLS[۱۲]) استفاده می‌شود.

۲-مثال‌های عددی

۲-۱- داده شبیه‌سازی شده

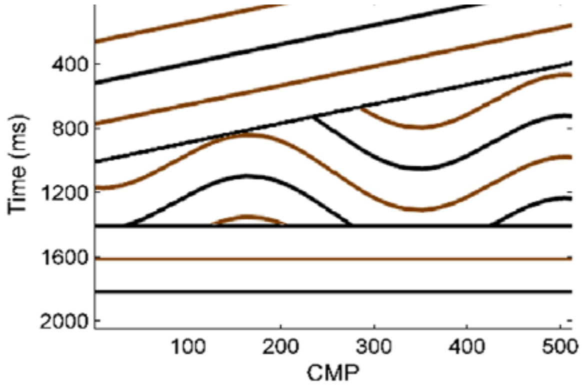
شکل-۱ یک مقطع بازتاب شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد که ابعاد مدل به صورت $r\in\mathbb{R}^{۵۱۲\times۵۱۲}$ می‌باشد و برای فرایند واهمامیخت کور چندکاناله مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای ساختن این مدل بازتاب، فاصله نمونه‌برداری زمانی dt=۴ میلی‌ثانیه و فاصله نمونه‌برداری مکانی dx=۲۵ متر در نظر گرفته شده‌اند.

مقطع لرزه‌ای اصلی نشان داده شده در شکل ۲-ب از طریق مدل همامیختی مقطع بازتاب شکل-۱ با موجک برلگ[۱۳] دارای فرکانس ۵۰ هرتز و فاصله نمونه‌برداری ۲ میلی‌ثانیه نشان داده شده در شکل ۲-الف و همچنین افزودن نوفه گوسی با نسبت سیگنال به نوفه ۵ دسی بل (dB) حاصل شده است.

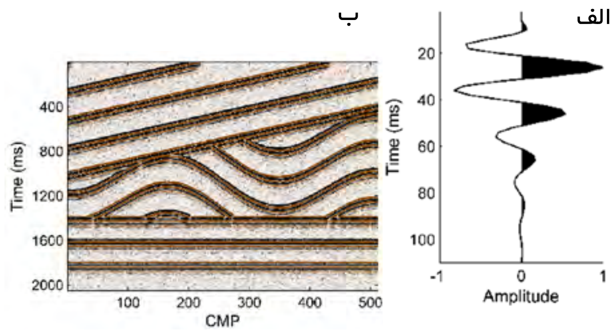
سپس با تقریب زدن یک طیف دامنه هموار برای موجک اولیه مورد استفاده در ساخت عملگر واهمامیخت که در شکل ۳-الف به رنگ قرمز نمایش داده شده است، از روی طیف دامنه داده مشاهده‌ای، الگوریتم واهمامیخت چندکاناله پیاده‌سازی می‌شود. مقطع بازتاب نهایی حاصل که از فاز موجک تخمین زده شده برای بازیابی آن بهره گرفته شده است، در شکل ۳-ج آورده شده است.

۲-۲- داده میدانی

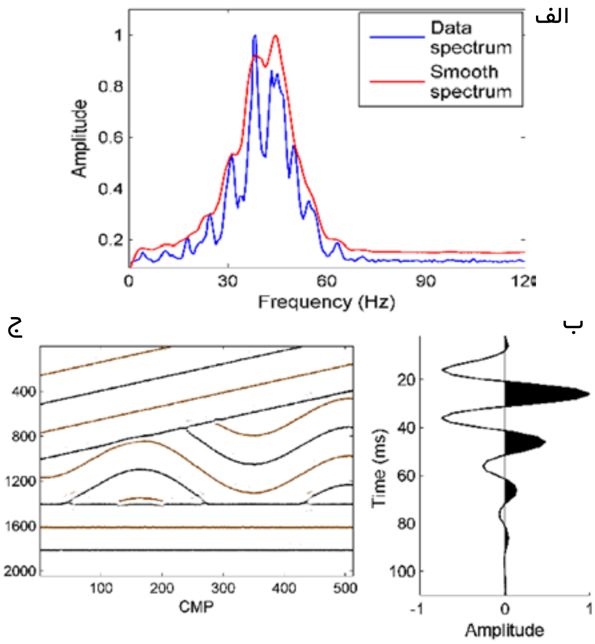
در این بخش داده لرزه‌ای که مورد آزمایش قرار گرفته است، یک مقطع لرزه‌ای پس از برانبارش و با ابعاد $y\in\mathbb{R}^{۲۰۱\times۱۲۰۳}$ مربوط به ناحیه مخزنی یکی از میدان‌های نفتی جنوب ایران می‌باشد. هر لرزه‌نگاشت شامل ۲۰۱ نمونه زمانی است که فاصله نمونه‌برداری آنها ۴ میلی‌ثانیه می‌باشد. مقطع قبل از واهمامیخت در شکل ۳-الف و مقطع پس از واهمامیخت در شکل ۳-ب آورده شده‌اند. طیف دامنه موجک اولیه‌ای که برای الگوریتم واهمامیخت کور چندکاناله از آن بهره گرفته شده، در شکل-۲ نشان داده شده است که با هموار کردن طیف دامنه میانگین



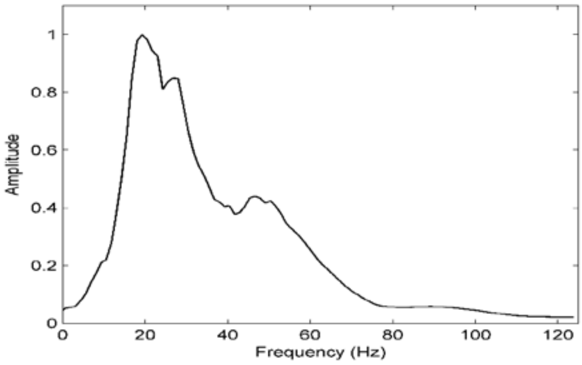
شکل ۱ | مقطع بازتاب شبیه سازی شده



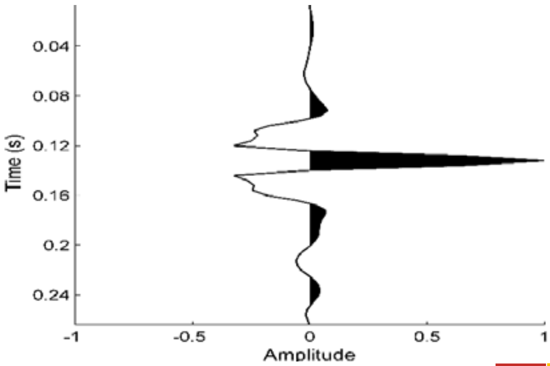
شکل ۲ | الف) موجک برلگ صحیح مورد استفاده برای ساخت مدل همامیختی لرزه‌ای، ب) مقطع لرزه‌ای نوفه‌دار با نسبت سیگنال به نوفه ۵ دسی بل



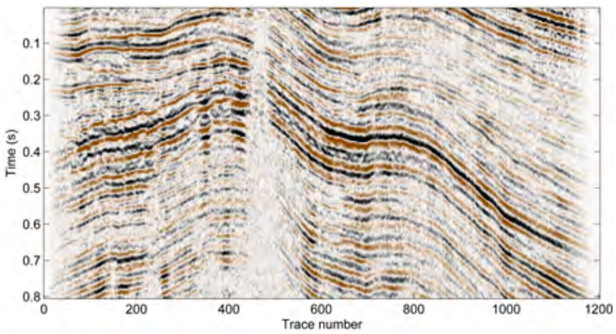
شکل ۳ | الف) نمایش تقریب هموازی از طیف دامنه موجک (به رنگ قرمز) که با استفاده از هموار کردن طیف دامنه داده لرزه‌ای (به رنگ آبی) حاصل شده است، ب) موجک تخمین زده شده و ج) مقطع بازتاب تخمین زده شده.



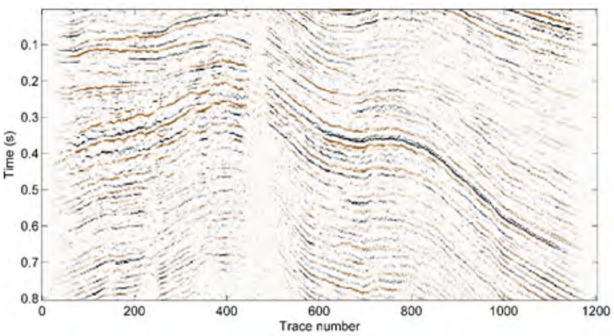
شکل ۴ | طیف دامنه موجک اولیه استفاده شده برای انجام فرایند واهمامیخت کور



شکل ۵ | موجک استخراج شده از مقطع لرزه‌ای

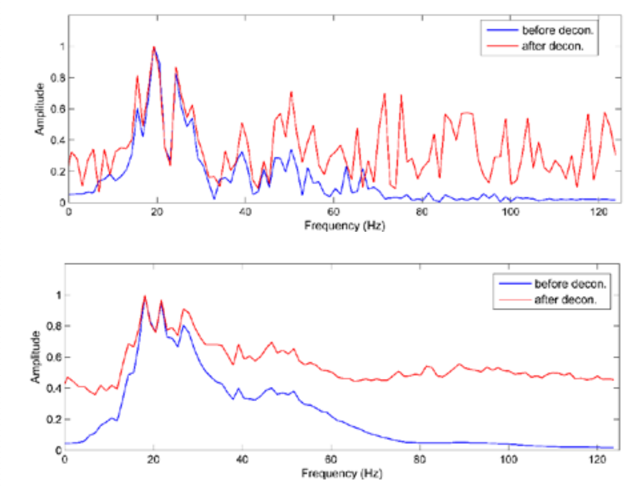


شکل ۶ | مقطع پس از برانبارش قبل از فرایند واهمامیخت



شکل ۷ | مقطع حاصل از واهمامیخت داده پس از برانبارش شکل ۶

داده مشاهده‌ای با استفاده از یک فیلتر گوسین به دست آمده است. موجک لرزه‌ای تخمین زده شده از مقطع دارای فاز صحیح به‌صورت شکل ۳-ج می‌باشد. علاوه بر این، در شکل-۶ به تحلیل میانگین طیف دامنه لرزه‌نگاشت‌ها و طیف دامنه لرزه‌نگاشتی از بخش میانی مقطع، قبل و بعد از فرایند واهمامیخت پرداخته شده است. همان‌طور که از روی



شکل ۸ | بالا: طیف دامنه لرزه‌نگاشت میانی مقطع، قبل و بعد از فرایند واهمامیخت و پایین: میانگین طیف دامنه مقطع که گسترش پهنای باند فرکانسی مقطع بعد از واهمامیخت را نشان می‌دهد. در هر دو شکل، رنگ آبی مربوط به طیف دامنه داده قبل از انجام فرایند واهمامیخت و رنگ قرمز مربوط به طیف دامنه داده پس از انجام فرایند واهمامیخت می‌باشد.

شکل طیف‌ها مشخص است، گسترش پهنای باند فرکانسی محسوسی در نتیجه پیاده‌سازی واهمامیخت کور بر روی داده پس از برانبارش، مشاهده خواهد شد.

نتیجه گیری

در این مقاله، برای انجام واهمامیخت کور چندکاناله از وارون‌سازی طیف دامنه داده مشاهده‌ای بهره گرفته شد و مقطع بازتاب زمین و موجک لرزه‌ای با ساختار صحیح بازیابی شدند. نتایج عمده‌ای که از الگوریتم استفاده شده حاصل می‌شود را می‌توان به شرح زیر خلاصه نمود:

۱- در تخمین چندکاناله مدل بازتاب از تابع منظم‌ساز تغییرات کلی مرتبه دوم بهره گرفته شد که علاوه‌بر بهبود میزان تُنُکی در راستای زمانی، پیوستگی جانبی پدیده‌های بازتابی را نیز حفظ می‌کند.

۲- از مزایای حل مسئله تغییرات کلی مرتبه دوم به روش شکافت برگمن، می‌توان به سرعت همگرایی بالا و پایداری عددی مناسب آن اشاره کرد که برای حل مسائل ژئوفیزیکی بزرگ مقیاس، قابل‌استفاده می‌باشد.

۳- عملکرد مطلوب روش تعبیه شده بر روی نتایج عددی شبیه‌سازی شده چندکاناله و داده میدانی، کارایی آن را در افزایش قدرت تفکیک بازتاب‌ها در مقاطع لرزه‌ای پس از واهمامیخت و همچنین بازیابی فاز صحیح موجک و مدل بازتاب زمین تنها با استفاده از تخمین هموراری از طیف دامنه موجک، تأیید می‌نماید.

پانویس‌ها

1. Blurring kernel
2- Blind deconvolution
3- Autocorrelation
4- Cepstral
5- Minimum Entropy Deconvolution
6- Convolutional Model
7- Green Function
8- Circulant
9- Second Order Total Variation
10- Split Bregman
11- Fast Shrinkage Thresholding Algorithm
12- Iteratively Reweighted Least Squares
13- Berlage wavelet

منابع

[1] Ulrych, T. J., D. R. Velis, and M. D. Sacchi, Wavelet estimation revisited: The Leading Edge,1995, 10, 1139–1143.

[2] Sacchi, M. D., and T. J. Ulrych,Non-minimum phase wavelet estimation using higher order statistics: The Leading Edge,2000,19, 80–83.

[3] Wiggins, R. A., 1978, Minimum entropy deconvolution: Geophysics, 16, 21-35.

[4]Ulrych, T. J., Application of homomorphicdeconvolution to seismology: Geophysics,1971, 36, 65-660.

[5] Gholami, A., Phase retrieval through regularization for seismic problems: Geophysics,2014, Vol. 79, no. 5, V153–V164.

[6] Gholami, A., and M. D. Sacchi, A fast and automatic sparse deconvolution in the presence of outliers: IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.,2012,50, 4105–4116.

[7] Gholami, A., and M. D. Sacchi, Fast 3D blind seismic deconvolution via constrained total variation and GCV: SIAM Journal on Imaging Sciences,2013,6, 2350–2369.

[8] Bregman, L., The relaxation method of finding the common points of convex sets and its application to the solution of problems in convex programming: U.S.S.R. Comput. Math. Phys., 1976, 7, 200-217.

[9] Beck, A., and M. Teboulle, A fast iterative shrinkage-thresholdingalgorithm for linear inverse problems: SIAM Journal on Imaging Sciences, 2009, 2, 183–202.